

Aus dem Fachbereich Sport
Abteilung Sportmedizin
der Johannes Gutenberg Universität Mainz

Das Verhalten verschiedener Enzyme und des
Laktats im Serum bei Sportstudenten unter
standardisierter Ergometerbelastung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde des Doktors der Medizin
der Johannes Gutenberg Universität in Mainz

dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von Bodo Schubert
aus Mainz

Mainz 1979

Aus dem Fachbereich Sport
Abteilung Sportmedizin
der Johannes Gutenberg Universität Mainz

Das Verhalten verschiedener Enzyme und des
Laktats im Serum bei Sportstudenten unter
standardisierter Ergometerbelastung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde des Doktors der Medizin
der Johannes Gutenberg Universität in Mainz

dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von Bodo Schubert
aus Mainz

Mainz 1979



Dekan:	Prof. Dr. H. Leithoff
1. Gutachter:	Prof. Dr. K.-E. Zipf
2. Gutachter:	Prof. Dr. H. Spitzbarth

Tag der mündlichen Prüfung: 24.10.1979

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Fragestellung	2
Chemische und physiologische Eigenschaften	3
Experimenteller Teil	9
Ergebnisse	12
Diskussion	32
Zusammenfassung	45
Literatur	47

I. EINLEITUNG

Die sogenannten "muskelspezifischen Enzyme bzw. Stoffwechselprodukte" Kreatinin-Phosphokinase (CPK), Laktat-Dehydrogenase (LDH), Serum-Glutamat-Oxalacetat-Transaminase (SGOT), Serum-Glutamat-Pyruvat-Transaminase (SGPT), Glutamat-Dehydrogenase (GLDH), Aldolase und Laktat sind natürlich keine ausschließlichen Parameter für den Stoffwechsel der Skelettmuskulatur. Viele andere Faktoren beeinflussen und bilden den Blutspiegel im menschlichen Organismus. Aber wir halten folgende Auswahl in Kombination mit den Versuchsbedingungen für geeignet, einen relevanten Bezug zur Aktivität der Skelettmuskulatur darzustellen.

Da jedoch auch der Stoffwechsel der Skelettmuskulatur ein überaus komplexes Gebiet darstellt, erheben wir keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Viele Faktoren, wie Atmung, Stoffwechsellaage, Hormonhaushalt, Grundkrankheiten, sowie soziologische und psychische Einflüsse mußten unberücksichtigt, beziehungsweise nur ganz unvollkommen behandelt werden.

Selt die ersten Theorien der Enzymkatalyse entwickelt wurden (V.GIERKE und WILLSTÄTTER) und SUMNER im Jahre 1926 die erste Kristallisation eines Enzyms gelang, nahm die Weiterforschung und Theorienbildung in der Enzymologie eine solch stürmische Entwicklung an, daß selbst Meilensteine wie Enzymregulationen, Raummodelle und synthetische Herstellung schon längst zur Selbstverständlichkeit wurden.

Natürlich konnte auch die Sportmedizin und damit auch die von ihr betreuten Sportler von diesen Fortschritten profitieren; sowohl die Leistungsentwicklung als auch den Schutz vor Trainingsschäden betreffend.

II. FRAGESTELLUNG

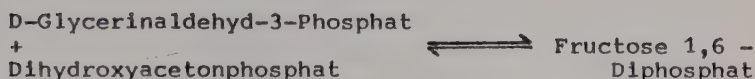
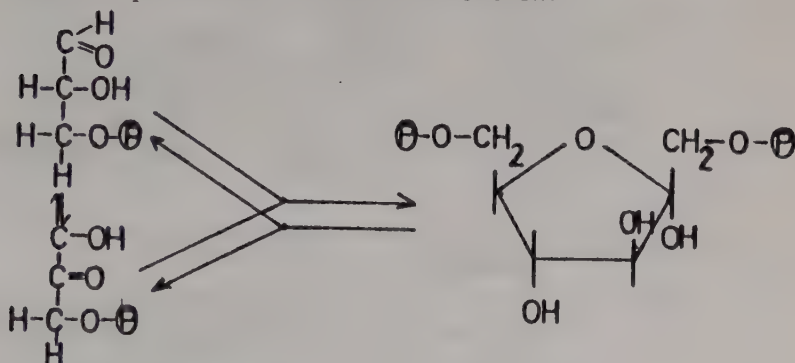
Ziel der Untersuchungen war es, das Verhalten der Enzyme CPK, LDH, SGOT, SGPT, GLDH und Aldolase, sowie das Verhalten von Laktat bei körperlicher Belastung im Blut zu ermitteln.

Die körperliche Belastung (Fahrradergometer) erfolgte unter gleichen Versuchsbedingungen.

Eine mögliche Korrelation der oben genannten Enzyme und des Laktats zur geleisteten Arbeit sollte untersucht werden.

III. CHEMISCHE UND PHYSIOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN

Aldolase: Dieses zu den Desmolasen (Enzyme des Abbaus der Kohlenstoffgerüste) zählende Enzym katalysiert die Aldol-Kondensation:

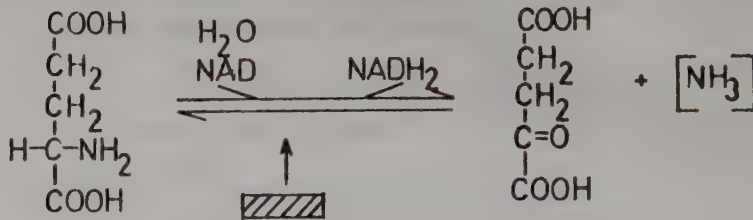


Das Enzym ist unentbehrlich sowohl bei der Glykolyse als auch bei der Gluconeogenese (BUDDECKE). Da durch die Gluconeogenese in der Leber aus Pyruvat und Laktat Glykogen und damit das Energie-Substrat Glucose resynthetisiert wird, stellt die Aldolase einen Parameter sowohl für die aerobe als auch für die anaerobe Muskeltätigkeit dar (KARLSON). Daß die Diphosphofructoaldolase eine sehr wichtige Rolle im Stoffwechsel einnimmt, beweist auch das Auftreten der hämolytischen Anämie bei ihrem Gen-bedingten Defekt, der eine Störung der erythrozytären Glykolyse verursacht (SIEGENTHALER; JAFFE; LÖHR und WALLER).

Der Normbereich beträgt 0,5 bis 11,2 mU/ml
(nach GROSS-SCHÖLMERICH)

Glutamat-Dehydrogenase (GLDH):

Dieses wichtige Atmungskettenferment kommt zu 40% in den Mitochondrien vor (PRELLWITZ) und katalysiert die Reaktion:



L-Glutaminsäure $\rightleftharpoons$ α -Ketoglutarensäure
(KARLSON)

GLDH weist folgende Organverteilung auf und stellt einen wichtigen Parameter zur allgemeinen Zellaktivität dar (BUDDECKE):

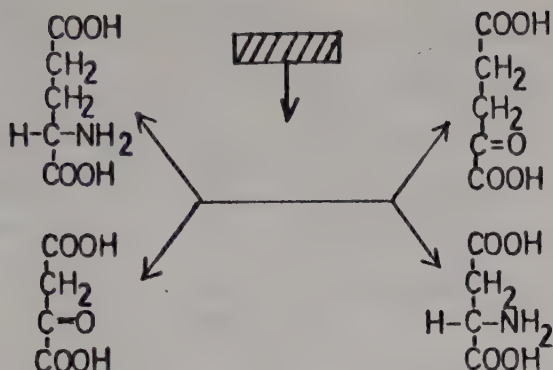
- 76% - Leber
- 9% - Niere
- 6% - Lunge
- 6% - Gehirn
- 2% - Herz
- 1% - Skelettmuskulatur

(PRELLWITZ; SCHMIDT 1966; SCHMIDT 1959)

Der Normbereich beträgt: bis 1 mU/ml (PRELLWITZ)

Serum-Glutamat-Oxalacetat-Transaminase (SGOT):

Auch dieses Enzym ist in vielen Organen vorhanden und findet sich sowohl in den Mitochondrien als auch im Cytoplasma (SIEGENTHALER). Wie GLDH stellt die SGOT einen wichtigen Parameter für die allgemeine Zellaktivität dar und katalysiert folgende Reaktion, wobei die Serum-Aktivität ca 1/10 000 der Zellaktivität beträgt (SIEGENTHALER)



Glutaminsäure
+
Oxalacetat

↔

-Ketoglutar säure
+
Asparaginsäure

(KARLSON)

Die Organverteilung von SGOT:

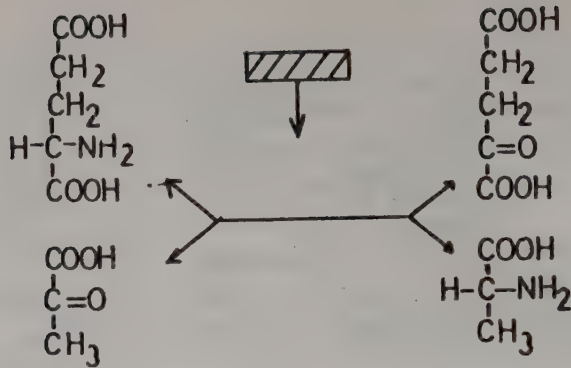
- 33% - Leber
- 29% - Herzmuskel
- 21% - Skelettmuskel
- 9% - Gehirn
- 6% - Niere
- 1% - Pankreas
- 1% - Lunge

(PRELLWITZ; SCHMIDT 1959; SCHMIDT 1966)

Der Normbereich beträgt: 4-12 mU/ml (PRELLWITZ)

Serum-Glutamat-Pyruvat-Transaminase (SGPT):

Da die SGPT das Schlüsselenzym der Gluconeogenese ist, bedeutet ein Anstieg im Serum eine Erhöhung der Glykogen/Glucose-Resynthese aus Laktat/Pyruvat. SGPT ist also ein Parameter der anaeroben und auch der aeroben Energiegewinnung (SIEGENTHALER).



Glutaminsäure
+
Pyruvat

α-Ketoglutaratsäure
+
Alanin

(KARLSON)

Wir finden folgende Organverteilung:

- 80% - Leber
- 8% - Skelettmuskel
- 6% - Herzmuskel
- 4% - Niere
- 2% - Pankreas

(PRELLWITZ; SCHMIDT 1959; SCHMIDT 1966)

Der Normbereich beträgt: 4-12 mU/ml (PRELLWITZ)

Laktatdehydrogenase (LDH):

Als Schlüsselenzym der Glykolyse (SIEGENTHALER) stellt dieses Enzym einen wichtigen Parameter der anaeroben Muskeltätigkeit dar (BUDDECKE). Die Dehydrierung des Laktats zu Pyruvat findet in der Leber statt, und als nächster Schritt stellt das Enzymsystem dem Organismus über die Gluconeogenese und über den Cori-Zyklus re-synthetisierte Glucose zur Verfügung (KARLSON).

Wir finden folgende Organverteilung der LDH:

- 21% - Skelettmuskel
- 20% - Leber
- 17% - Herzmuskel
- 15% - Niere
- 11% - Lymphknoten
- 7% - Pankreas
- 5% - Erythrozyten
- 4% - Lunge

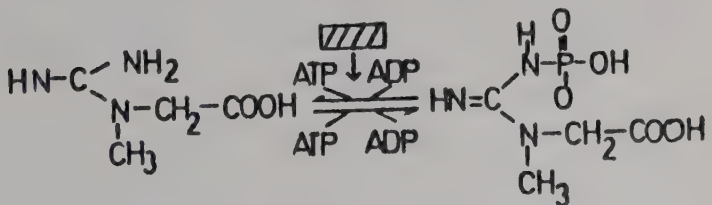
PRELLWITZ; SCHMIDT 1959; SCHMIDT 1966)

Der Normbereich beträgt 60-170 mU/ml (PRELLWITZ), wobei die Serumaktivität 1/1000 der Zellaktivität beträgt (SIEGENTHALER).

Kreatinin-Phospho-Kinase (CPK):

Dieses Enzym kann als direkter Parameter der Muskelaktivität angesehen werden (PRELLWITZ), da es durch die Bereitstellung von ATP den Muskel mit energiereichem Phosphat und damit mit "Brennstoff" versorgt (PRELLWITZ; BUDDECKE). Obwohl die Aktivität in der Muskelzelle mehr als 1 000 000 mal größer ist als im Serum (SIEGENTHALER), können wir Schäden an der Muskulatur oder geleistete Arbeit sehr gut aus dem Serumspiegel ersehen.

CPK katalysiert folgenden Prozeß:



Kreatin $\rightleftharpoons$ Kreatinphosphat
(BUDDECKE)

Der Normbereich beträgt: bis 1 mU/ml (PRELLWITZ)

Laktat: ist als Endprodukt der anaeroben Glykolyse ein direkter Parameter der anaeroben Muskelarbeit (BUDDECKE). Bei schwerer Belastung kann der Serumspegel bis auf 100 mg% ansteigen (BUDDECKE); gegenüber einem Normbereich von 6 - 10 mg% (PRELLWITZ). Da das Laktat zudem auch noch sehr schnell ins Blut abgegeben wird (BUDDECKE), stellen die gefundenen Serumwerte die augenblickliche Stoffwechselsituation der Muskelzelle sehr gut dar.

IV. EXPERIMENTELLER TEIL

1. Untersuchungsgut

Die Untersuchungen fanden an 36 Personen statt. Diese Gruppe teilt sich auf in zwei Untergruppen zu 22 weiblichen und 14 männlichen Probanden.

Da wir es ausnahmslos mit Sportstudenten (-innen) zu tun haben, ergibt sich natürlich ein relativ durchtrainiertes Kollektiv, das allerdings in sich keine einheitliche Gruppe darstellt, da es sich aus Sportlern, Leistungssportlern und Hochleistungssportlern zusammensetzt.

1. Gruppe: weibliche Probanden

Diese Gruppe besteht aus 22 Personen im Alter von 20 - 22 Jahren. Die sportärztliche Untersuchung ergab keinen von der Norm abweichenden Befund.

2. Gruppe: männliche Probanden

Diese Gruppe besteht aus 14 Personen im Alter von 21 - 32 Jahren. Auch in dieser Gruppe ergab die sportärztliche Untersuchung keinen von der Norm abweichenden Befund.

Das Untersuchungsgut besteht also aus gesunden, jungen und belastungsfähigen Erwachsenen.

2. Methodik

Während der standardisierten Belastung in einem geschlossenen Raum wurde gleichzeitig mittels Pneumotest-Bodytest (Firma Jäger, Würzburg) folgende ergospirometrischen Größen ermittelt:

Atemminutenvolumen (AMV)
Atemfrequenz (AF)
O₂ - Verbrauch (O₂)
CO₂ - Abgabe (CO₂)
Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}$)
Sauerstoffpuls ($\dot{V}_{O_2}/\text{Puls}$)
respiratorischer Quotient (RQ)
Atemäquivalenz (AÄQ)
Herzfrequenz (HF)

zusätzlich wurde noch das Ekg festgehalten (Brustwandableitung nach Wilson V₄₋₆)

Die Belastungen wurden auf einem Fahrrad - Ergometer bei folgenden Leistungsstufen durchgeführt:

weiblich: 100, 150 und 200 Watt

männlich: 150, 200 und 250 Watt

Die Zeit betrug unterschiedlich zwei bzw. drei Minuten je Wattstufe.

Da die einzelnen Belastungsversuche recht unterschiedlich (nach verschiedenem Leistungsvermögen, aber nicht über die oben angegebene Zeit hinaus) verliefen, haben wir die ermittelten Werte in den Begriff der geleisteten Arbeit transformiert.

Nach dem Belastungsversuch mit dem Fahrrad - Ergometer, im Anschluß einer fünfminütigen Erholungspause, wurde intravenös Blut entnommen, das dann in Bezug auf die ge-

nannten Enzyme mit den Werten vor der Belastung verglichen wurde.

Alle Werte wurden unter standardisierten Bedingungen mit Reagenzien der Firma "boehringer mannheim" ermittelt.

3. Statistik

Die statistische Prüfung der Ergebnisse erfolgte nach den üblichen Verfahren, die dem Buch von KOLLER entnommen wurden.

Errechnet wurden Mittelwert und Streuung:

Der Mittelwert wurde nach der Formel:

$$m = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

berechnet (= arithmetisches Mittel)

Die Streuung wurde nach der Formel:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

berechnet (= Standardabweichung)

V. ERGEBNISSE

Die einzelnen Veränderungen der Enzymaktivität im Serum, bezogen auf die Werte vor der Belastung sind aus Tabelle 1 und Tabelle 2 zu ersehen.

Die ergospirometrischen Ergebnisse sind in den Tabellen 3 und 4 festgehalten.

An weiteren Tabellen haben wir versucht, eine Abhängigkeit der ermittelten Werte von konstitutionellen Verschiedenheiten und unterschiedlichen Versuchsbedingungen zu ermitteln:

Bei den einzelnen Parametern kamen wir zu folgenden Ergebnissen:

Gruppe 1 : weiblich

Laktat: von dem Ausgangswert 13,5 mg% (Durchschnitt) stieg die Konzentration auf durchschnittlich 57,3 mg% an. Das entspricht einer Zunahme von 43,8 mg% bei einer Standardabweichung von 16,0 mg%

Zum Vergleich: der Durchschnitt aus beiden Gruppen beträgt: 14,0 / 64,2 mg% (vor/nach der Belastung)

Der Normwert beträgt: 6 - 10 mg% (PRELLWITZ)

Laktatdehydrogenase:

Hier steigt die Konzentration von 175,3 mU/ml auf 258,6 mU/ml an. Die Aktivitätszunahme beträgt also 83,3 mU/ml bei einer Standardabweichung von 29,2 mU/ml.

Im Vergleich wieder die Gesamtgruppe: 177,0 mU/ml auf 257,5 mU/ml

Der Normwert beträgt: 60 - 170 mU/ml (PRELLWITZ)

Glutamatdehydrogenase (GLDH):

Wir stellten einen Anstieg von 2,0 mU/ml auf 6,0 mU/ml fest = eine Aktivitätszunahme von 4,0 mU/ml bei einer Standardabweichung von 1,9 mU/ml.

Auch hier wieder das Gesamtkollektiv zum Vergleich: 2,1 mU/ml / 5,8 mU/ml

Der Normwert beträgt: bis 1 mU/ml (PRELLWITZ)

Kreatinphosphokinase (CPK):

Die Aktivitätszunahme dieses Enzyms betrug 2,7 mU/ml bei einer Standardabweichung von 1,2 mU/ml. Der Anstieg erfolgte dabei von 0,5 mU/ml auf 3,2 mU/ml.

Die Gesamtgruppe zum Vergleich: 0,5 mU/ml auf 3,0 mU/ml

Der Normbereich beträgt: bis 1 mU/ml (PRELLWITZ)

Aldolase: Von dem Ausgangswert 1,6 mU/ml stieg die Enzymaktivität auf 7,1 mU/ml an. Wir sehen also einen Anstieg von 5,5 mU/ml bei einer Standardabweichung von 1,8 mU/ml.

Wieder die Gesamtgruppe zum Vergleich: von 1,5 mU/ml stieg die Aktivität auf 7,0 mU/ml.

Der Normbereich beträgt: 0,5 bis 11,2 mU/ml (GROSS-SCHÖLMERICH)

Serum-Glutamat-Oxalacetat-Transaminase (SGOT):

Hier stieg die Aktivität des Enzyms von 10,0 mU/ml auf 21,6 mU/ml an. Die Standardabweichung beträgt dabei 6,8 mU/ml; bei einer Aktivitätszunahme von 11,6 mU/ml.

Bei der Gesamtgruppe: von 10,5 mU/ml auf
22,3 mU/ml

Der Normbereich beträgt: bis 12 mU/ml (PRELL-
WITZ)

Serum- Glutamat-Pyruvat-Transaminase (SGPT):

Bei diesem Enzym fand ein Aktivitätsanstieg
von 9,0 mU/ml auf 21,9 mU/ml statt. Er be-
trägt also 12,9 mU/ml bei einer Standardab-
weichung von 5,6 mU/ml

Die Werte der Gesamtgruppe: von 9,0 mU/ml auf
22,6 mU/ml

Der Normbereich beträgt wie bei der SGOT:
bis 12 mU/ml (PRELLWITZ)

Gruppe 2: männliche Probanden

Laktat: Von 14,8 mg% stieg die Konzentration im Serum auf 75,0 mg% an. Das entspricht einer Zunahme von 60,2 mg% bei einer Standardabweichung von 21,4 mg%

Die Gesamtgruppe: von 14,0 mg% auf 64,2 mg%

Der Normbereich beträgt: 6-10 mg% (PRELLWITZ)

Laktatdehydrogenase (LDH):

Der Aktivitätsanstieg betrug hier, von 180,1 mU/ml auf 255,7 mU/ml, 75,6 mU/ml bei einer Standardabweichung von 23,8 mU/ml

Die Werte der Gesamtgruppe betragen: 177,0 mU/ml vor und 257,5 mU/ml nach der Belastung.

Der Normwert beträgt: 60 - 170 mU/ml (PRELLWITZ)

Glutamatdehydrogenase (GLDH):

Die Enzymaktivität nahm hier, von 2,2 mU/ml auf 5,5 mU/ml, um 3,3 mU/ml zu, bei einer Standardabweichung von 1,6 mU/ml.

Gesamtgruppe: 2,1 mU/ml / 5,8 mU/ml

Normbereich: bis 1 mU/ml (PRELLWITZ)

Kreatinphosphokinase (CPK):

Hier stellten wir einen Anstieg der Aktivität um 2,2 mU/ml fest. Von dem Ruhewert 0,5 mU/ml stieg die Enzymaktivität auf 2,7 mU/ml. Die Standardabweichung beträgt 1,0 mU/ml.

Bei dem Gesamtkollektiv fanden wir folgende Veränderungen: 0,5 mU/ml / 3,0 mU/ml

Der Normbereich der CPK liegt bei: bis 1 mU/ml
(PRELLWITZ)

Aldolase: Von 1,3 mU/ml auf 6,8 mU/ml fanden wir einen Aktivitätsanstieg von 5,5 mU/ml. Die Standardabweichung beträgt dabei 4,1 mU/ml.

Der Normbereich beträgt: 0,5 bis 11,2 mU/ml
(GROSS-SCHÖLMERICH)

Serum-Glutamat-Oxalacetat-Transaminase (SGOT):

Von dem Ausgangswert 11,3 mU/ml stieg die Aktivität des Enzyms auf 23,4 mU/ml an. Die Zunahme betrug also 12,1 mU/ml bei einer Standardabweichung von 4,5 mU/ml

Gesamtgruppe: von 10,5 mU/ml auf 22,3 mU/ml

Der Normbereich: bis 12 mU/ml (PRELLWITZ)

Serum-Glutamat-Pyruvat-Transaminase (SGPT):

Von 9,0 mU/ml stieg die Enzymaktivität im Serum um 14,6 mU/ml auf 23,6 mU/ml an. Die Standardabweichung beträgt dabei 8,5 mU/ml

Gesamtgruppe: von 9,0 mU/ml auf 22,6 mU/ml

Der Normbereich: bis 12 mU/ml (PRELLWITZ)

Wir sehen, daß trotz der relativ großen Streubreite und Standardabweichung geringe, aber deutliche Unterschiede zwischen den gefundenen Werten der beiden Gruppen bestehen, die sicherlich nicht alleine auf die Streubreite zurückzuführen sind.

Dies zeigt zum Beispiel die Creatinphosphokinase: bei gleichem Ausgangswert fanden wir in der Gruppe 1 eine erheblich größere Aktivitätszunahme als bei Gruppe 2.

Oder an dem Beispiel Laktat: bei der Gruppe 1 (weiblich) finden wir einen geringeren Anstieg der Substratkonzentration im Serum als bei der Gruppe 2.

Die Ausgangswerte (die Werte vor der Belastung) waren bei einigen Probanden schon als Ruhewert zum Teil leicht, zum Teil aber auch erheblich gegenüber dem Normbereich erhöht.

Diese Tatsache führen wir 1. auf den Trainingszustand und/oder 2. auf die körperliche Aktivität vor Beginn der Untersuchungen zurück. Dies zeigt ganz besonders deutlich der erhöhte Ruhewert der Laktatkonzentration im Plasma. - 14 mg% im Durchschnitt beider Gruppen im Gegensatz zur Norm: 6-10 mg% -

Nach der Belastung waren sämtliche Werte über der Norm.

An der Tatsache, daß während der Belastung am Fahrrad-Ergometer ein signifikanter Aktivitäts- und Konzentrationsanstieg der untersuchten Enzyme und des Laktats stattfand, kann man ersehen, daß eine mögliche Belastung vor Untersuchungsbeginn die Ergebnisse dieser Arbeit nicht wesentlich beeinflußt haben können.

Im Gegensatz zu einigen anderen Untersuchungsreihen wurde bei dieser Arbeit bei keinem Proband und bei keinem Enzym ein Aktivitätsverlust gefunden.

<u>Vp.</u>	<u>Alter</u>	<u>Größe</u>	<u>Gewicht</u>	<u>Laktat</u>		<u>LDH</u>		<u>GLDH</u>	
				vorher	nach	vorher	nach	vorher	nach
1	20	168	59	12,0	65,2	162	258	1,4	5,3
2	21	170	59	8,7	67,1	162	277	1,7	5,0
3	20	166	59	13,0	82,5	143	267	2,2	5,1
4	20	178	68	14,3	54,5	162	248	1,5	9,1
5	22	168	58	12,0	66,1	148	217	1,7	6,2
6	20	161	56	20,7	54,4	152	268	1,1	6,0
7	22	162	50	20,2	43,5	161	270	1,9	5,8
8	21	167	57	14,2	47,1	204	304	2,4	4,2
9	21	175	65	11,3	54,8	177	268	3,1	5,8
10	20	160	51	16,9	53,9	162	294	2,3	5,2
11	20	162	52	15,5	69,8	166	245	2,2	6,0
12	21	167	53	14,1	53,4	171	247	2,1	7,1
13	20	156	51	15,1	65,3	201	256	1,9	7,5
14	21	167	59	14,5	52,0	200	297	1,4	10,4
15	21	165	47	9,5	40,9	167	271	2,1	7,3
16	22	171	62	9,3	38,2	177	245	2,8	5,6
17	21	173	63	11,9	52,5	184	248	2,5	4,5
18	20	165	59	10,7	36,2	175	207	2,2	8,1
19	21	169	54	10,9	48,2	198	281	1,9	6,1
20	20	162	63	11,8	85,3	206	268	1,4	5,0
21	22	164	54	14,1	93,5	171	235	1,9	4,2
22	22	167	53	16,5	36,8	197	218	3,2	3,6

Tabelle 1 :

Die im Serum ermittelten Enzymaktivitäten bzw. Laktatkonzentration vor und nach der Ergometer (Fahrrad-) - Belastung
Gruppe 1 (weiblich)

Die Einheiten sind mU/ml bzw. bei Laktat mg%

Vp. = Versuchsperson

<u>CPK</u>		<u>Aldolase</u>		<u>SGOT</u>		<u>SGPT</u>	
vorher	nach	vorher	nach	vorher	nach	vorher	nach
0,4	1,6	0,6	8,6	9	15	8	22
0,4	1,1	0,9	7,7	9	19	11	14
0,5	2,7	1,3	5,4	8	22	8	28
0,2	2,1	1,7	6,4	11	19	8	22
0,5	3,2	1,5	9,4	9	19	8	14
0,4	4,2	1,3	4,9	9	12	7	19
0,7	3,7	2,1	5,8	7	9	9	10
0,8	1,6	1,3	6,2	11	31	9	19
0,7	2,7	0,6	5,8	7	37	7	28
0,5	3,2	0,9	7,1	16	25	15	25
0,5	3,7	1,7	9,0	7	22	7	25
0,2	3,2	2,1	8,6	7	19	7	28
0,3	3,2	1,5	7,9	8	13	5	22
0,5	2,7	2,6	9,4	12	31	12	28
0,1	1,6	1,7	9,4	11	19	11	19
0,4	2,1	2,1	5,6	7	15	7	11
0,3	4,8	2,6	10,7	12	19	7	22
0,4	4,8	1,7	3,9	9	19	9	14
0,6	5,3	2,1	4,5	12	31	12	31
0,5	4,2	1,3	5,1	15	19	12	22
0,7	2,7	2,1	7,5	7	19	5	22
0,3	4,2	2,6	8,6	16	34	13	25

Vp.	Alter	Größe	Gewicht	Arbeit	AMV				$\dot{V}O_2$			
					Ruhe	100W	150W	200W	Ruhe	100W	150W	200W
1	20	168	59	5508	3,6	16,0	31,0	55,3	100	550	1500	2400
2	21	170	59	5508	6,9	16,8	37,8	46,8	100	450	1450	1300
3	20	166	59	5508	5,2	22,2	50,0	87,0	150	850	2000	2350
4	20	178	68	5508	7,0	17,7	41,6	64,2	200	800	2200	2800
5	22	168	58	4896	3,5	17,5	31,0	51,2	50	500	1500	2250
6	20	161	56	3825	8,4	23,3	49,9	--	200	700	1800	--
7	22	162	50	3825	2,3	20,0	38,0	55,7	50	600	1700	2300
8	21	167	57	3060	5,7	26,7	55,9	--	200	1000	2200	--
9	21	175	65	4896	8,6	18,6	44,4	62,0	200	700	1900	2200
10	20	160	51	3060	5,0	20,2	41,9	--	100	700	1600	--
11	20	162	52	4896	8,9	25,7	44,7	57,2	200	900	1800	2250
12	21	167	53	3060	12,2	22,9	46,7	--	200	800	1800	--
13	20	156	51	3060	6,8	25,9	56,0	--	150	800	1700	--
14	21	167	59	4896	5,1	18,6	37,8	57,8	150	700	1800	2350
15	21	165	47	3060	6,5	21,3	47,1	--	150	600	1500	--
16	22	171	62	4896	10,0	25,6	50,9	73,4	200	900	2000	2400
17	21	173	63	4896	7,7	24,0	45,4	70,6	200	900	2000	2300
18	20	165	59	3060	7,4	17,9	41,0	--	200	850	2250	--
19	21	169	54	3060	6,6	41,9	74,4	116	200	1000	2100	--
20	20	162	63	4896	9,7	29,8	54,4	82,9	240	1100	2100	2750
21	22	164	54	3060	7,8	29,8	53,2	--	250	1250	2250	--
22	22	167	53	3060	6,4	21,2	44,5	--	100	700	1900	--

Tabelle 2 :

ergospirometrische Befunde während des Ergometertests
Gruppe 1 (weiblich)

die Dimensionen betragen: Arbeit - mkp (meterkilpond)

AMV - l (Liter)

$\dot{V}O_2$ - ml/min

Vp. = Versuchsperson

<u>$\dot{V}_{O_2}$-Puls</u>				<u>Atemfrequenz</u>				<u>Herzfrequenz</u>			
Ruhe	100W	150W	200W	Ruhe	100W	150W	200W	Ruhe	100W	150W	200W
1,6	7,8	11,0	13,6	7	17	17	31	59	112	149	180
1,4	5,5	9,5	7,6	8	10	33	45	96	136	174	189
1,9	10,2	14,0	13,2	11	22	34	41	73	125	158	177
2,7	10,5	15,7	17,3	7	12	22	29	86	123	150	166
0,7	7,5	11,4	12,2	7	16	18	29	77	130	163	190
2,3	8,1	10,0	9,6	10	23	30	34	96	145	184	--
0,9	8,0	11,6	13,0	12	23	35	41	82	131	159	175
2,5	11,1	12,8	--	11	16	28	--	83	132	171	--
2,1	8,5	13,0	12,9	9	15	24	34	99	131	155	172
1,0	7,1	10,1	--	7	21	38	--	94	155	196	--
2,4	9,5	11,9	11,9	14	21	20	26	98	142	172	185
2,9	7,1	10,0	--	10	16	35	--	100	142	179	--
1,7	8,0	9,9	--	18	30	35	--	105	156	181	--
1,7	9,3	13,5	15,2	10	20	24	30	72	114	142	162
1,6	7,9	11,1	--	17	29	36	--	82	130	154	--
2,7	12,4	15,2	14,5	15	20	24	38	77	116	147	166
2,8	11,5	15,6	15,6	14	20	27	32	67	111	139	159
3,1	12,5	16,8	--	15	24	33	--	72	111	147	--
8,9	11,6	15,9	--	14	30	35	--	86	128	153	--
2,6	9,1	12,3	15,3	7	21	24	40	103	163	191	199
3,6	10,0	13,7	--	11	25	29	--	103	174	196	--
1,2	7,7	11,2	--	17	19	26	--	81	145	182	--

Vp.	Alter	Größe	Gewicht	Laktat		LDH		GLDH	
				vorher	nach	vorher	nach	vorher	nach
1	26	180	75	16,5	92,4	143	239	2,1	4,8
2	32	172	71	22,7	83,5	153	239	2,2	7,8
3	22	169	69	7,9	98,2	143	248	1,7	5,4
4	21	189	87	9,2	73,1	200	274	2,7	4,9
5	23	171	67	14,2	78,6	198	257	2,5	5,1
6	21	161	54	30,4	78,5	152	281	2,4	4,9
7	27	176	69	10,4	67,4	198	227	1,5	9,4
8	31	174	75	9,9	90,1	178	238	1,9	5,1
9	32	174	76	11,3	67,6	185	242	2,0	6,2
10	21	178	70	15,2	45,4	178	265	3,0	7,2
11	23	179	73	17,1	109,3	204	245	1,5	4,7
12	25	173	63	14,7	68,9	200	291	1,5	4,9
13	21	183	74	10,2	41,0	187	272	2,5	4,0
14	25	182	81	20,3	48,9	189	262	2,8	3,8

Tabelle 3: Enzymaktivitäten (analog Tab. 1) - Gruppe 2 (männlich)

Vp.	Arbeit	AMV				$\dot{V}_{O_2}$			
		Ruhe	150W	200W	250W	Ruhe	150W	200W	250W
1	7497	11,6	53,5	93,6	--	400	2100	3200	--
2	7344	18,3	33,8	70,6	111	400	1150	2950	3550
3	6579	10,4	30,0	60,2	86,3	300	1300	2800	3100
4	7344	12,3	34,7	57,5	83,8	400	1600	2600	3500
5	5814	10,8	30,1	58,0	75,6	350	1400	2700	3200
6	5814	5,7	28,8	58,9	68,6	100	1200	2700	2700
7	5814	11,6	36,2	72,8	104	350	1400	2700	3200
8	6579	7,7	33,2	66,1	86,6	200	1400	2800	2800
9	7344	8,0	31,2	59,3	80,1	250	2750	3200	3900
10	6579	10,2	32,3	55,6	77,9	300	1400	4500	3200
11	6579	14,7	41,9	74,4	116	400	1700	2900	3800
12	5814	7,1	30,5	63,3	87,1	200	1300	2700	3200
13	7344	10,7	26,2	44,3	56,8	450	1650	3100	3900
14	7344	10,4	29,0	61,0	84,7	350	1550	3150	3700

Tabelle 4: Ergospirometrische Ergebnisse - Gruppe 2

K	<u>Aldolase</u>		<u>SGOT</u>		<u>SGPT</u>		
	vorher	nach	vorher	nach	vorher	nach	
0,2	1,4	0,6	6,2	12	19	11	12
0,8	2,1	1,9	6,0	8	12	5	11
0,3	1,6	1,5	7,1	15	28	11	28
0,3	2,7	2,4	9,8	11	28	7	31
0,6	1,6	0,9	5,6	15	31	12	31
0,7	3,2	1,3	4,7	12	28	7	25
0,3	2,1	0,6	7,9	7	15	7	12
0,5	2,7	1,3	9,8	7	22	9	31
0,5	3,2	0,9	10,3	15	25	12	25
0,2	1,6	1,3	6,8	9	22	7	28
0,6	5,3	0,9	4,7	7	25	5	28
0,3	2,7	1,1	6,6	16	28	12	25
0,8	3,2	2,4	5,4	9	15	5	15
0,5	3,7	0,9	3,9	16	31	16	28

-	<u>-Puls</u>			<u>Atemfrequenz</u>				<u>Herzfrequenz</u>			
	150W	200W	250W	Ruhe	150W	200W	250W	Ruhe	150W	200W	250W
2	19,5	19,9	--	12	25	32	--	54	148	178	--
5	14,9	18,2	20,7	11	19	31	39	95	133	164	181
7	16,7	19,0	21,6	21	27	31	41	70	121	154	171
0	18,2	17,8	21,2	12	20	23	26	92	132	152	172
4	16,6	16,7	17,3	12	19	25	29	69	131	168	187
8	16,5	16,2	15,7	12	21	35	37	63	124	157	173
3	14,9	17,5	18,2	13	19	33	44	77	135	160	178
6	15,5	17,1	19,1	13	21	27	33	90	129	153	167
7	19,8	20,5	22,9	7	19	28	30	87	127	150	171
3	15,7	17,4	19,5	12	18	20	28	77	123	151	171
0	15,4	22,2	25,5	15	27	35	45	97	148	173	188
5	16,0	16,4	17,6	10	19	28	32	68	131	166	182
6	21,3	25,4	31,3	11	13	14	20	70	110	126	138
2	20,0	24,1	25,7	7	11	19	33	67	115	138	163

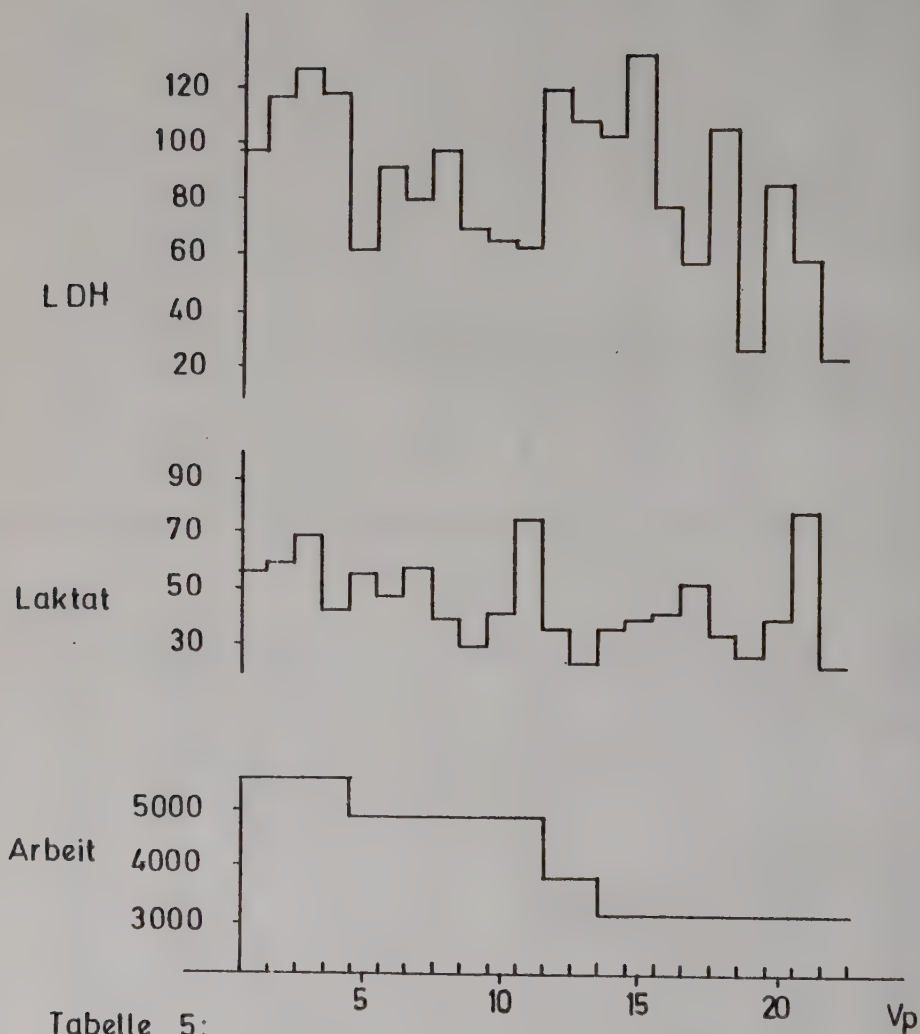


Tabelle 5:

Enzym -und Substrat -Anstieg Gruppe 1
 Arbeit [mkp=Meterkilopond]; Laktat [mg%],
 LDH [mU/ml]

Vp = Versuchsperson

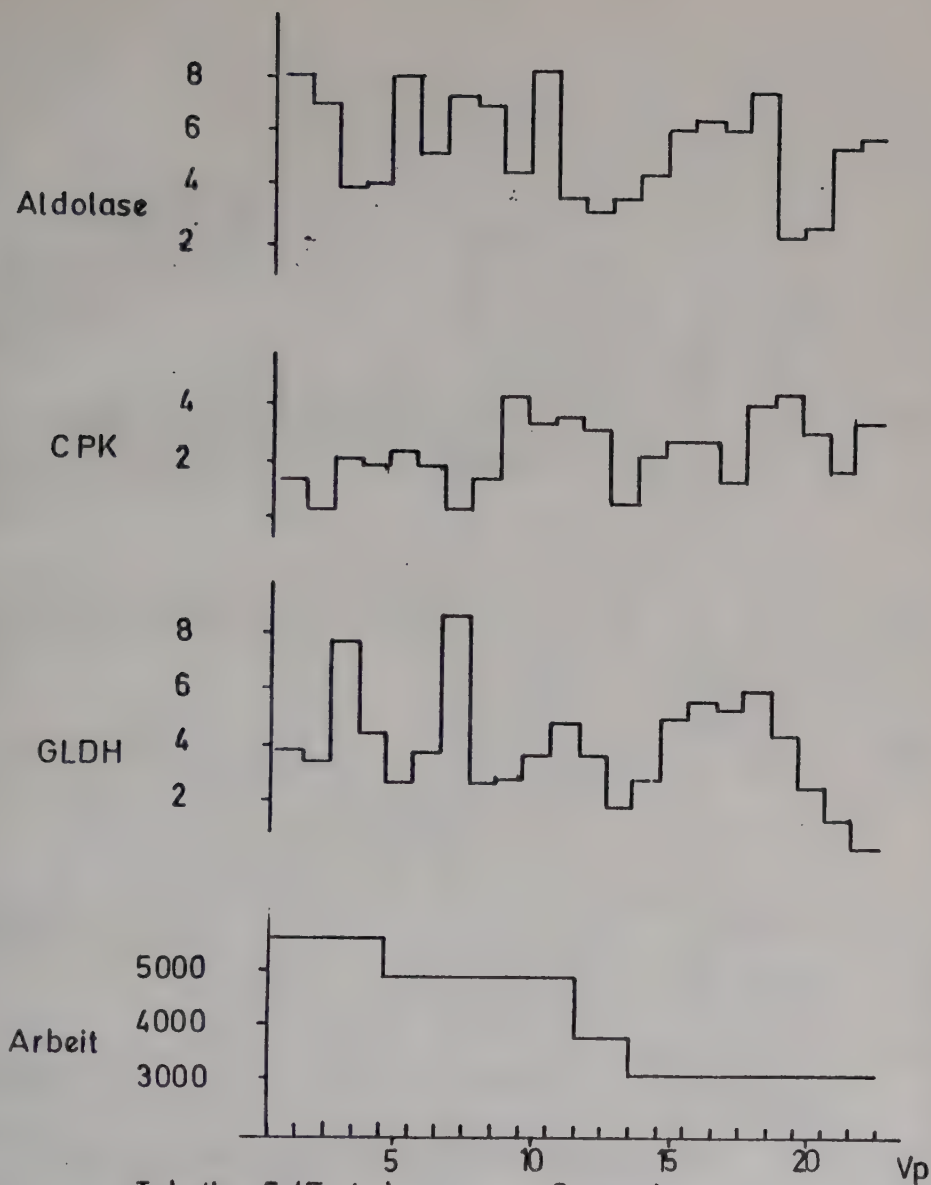


Tabelle 5 (Forts.):

Gruppe 1

GLDH [mU/ml], CPK [mU/ml],

Aldolase [mU/ml]

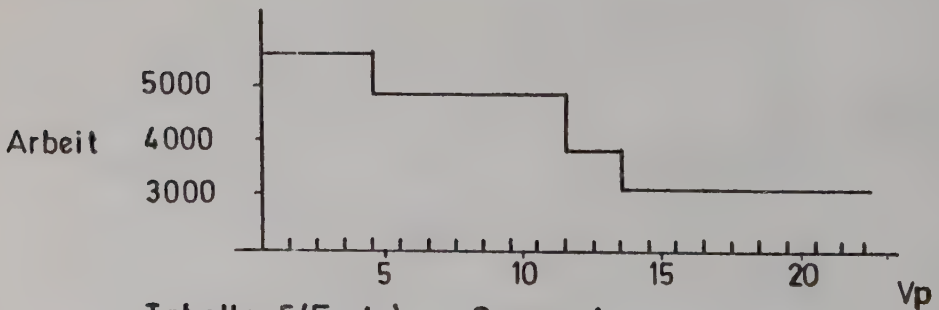
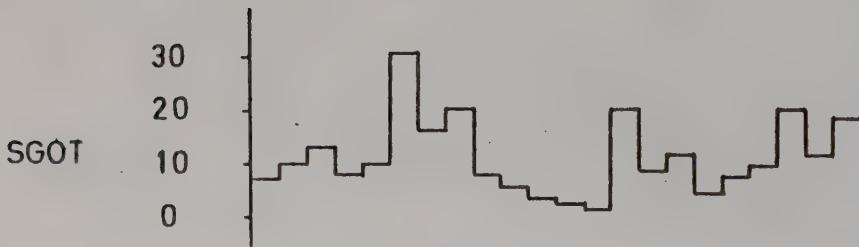


Tabelle 5(Forts): Gruppe 1

SGOT , SGPT
[mU/ml] [mU/ml]

Vp= Versuchsperson

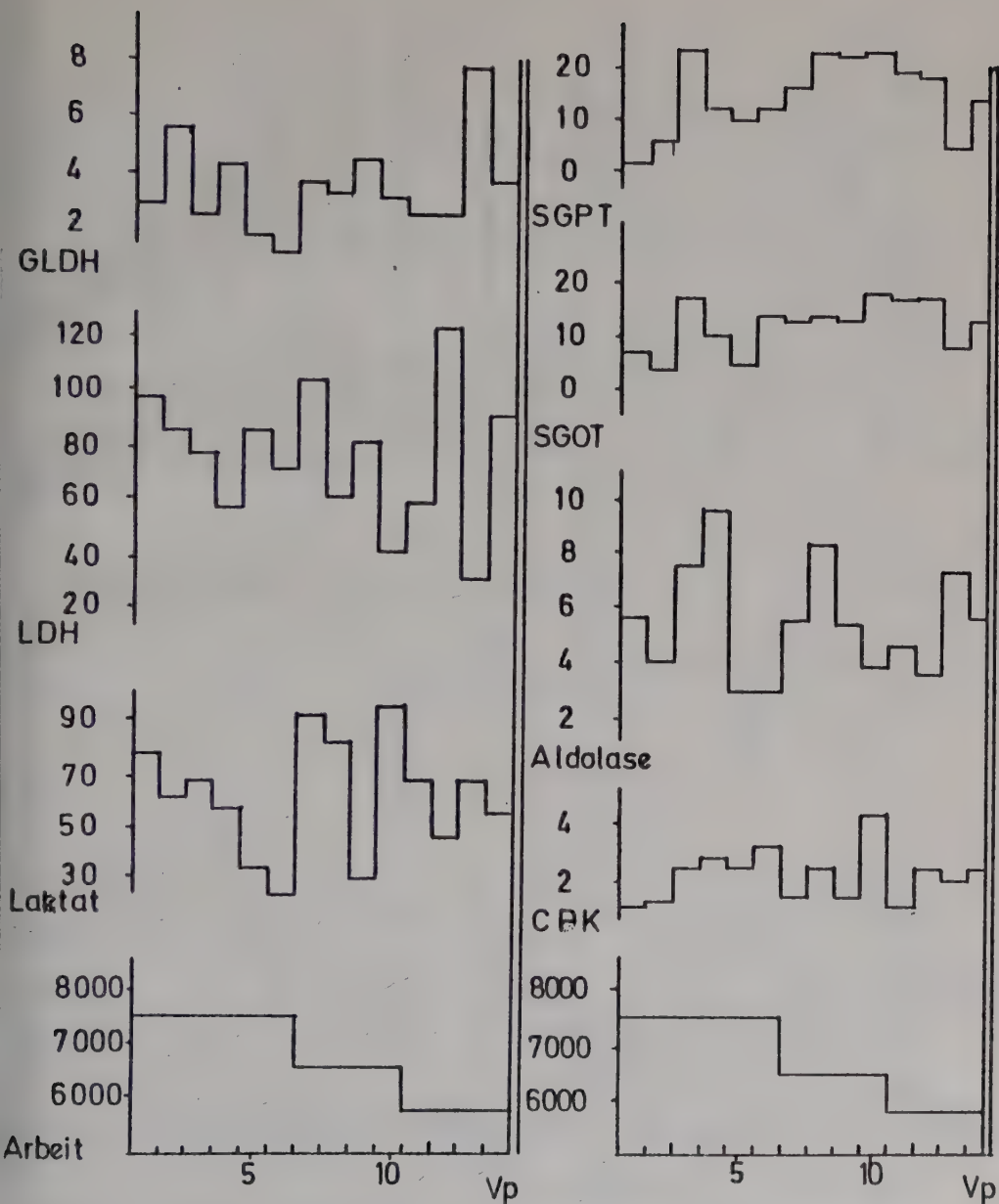


Tabelle 6:

Enzym- und Substrat-Anstieg Gruppe 2

Arbeit [mkp=Meterkilopond], Laktat [mg %],

LDH [mU/ml], GLDH [mU/ml], Vp = Versuchsperson

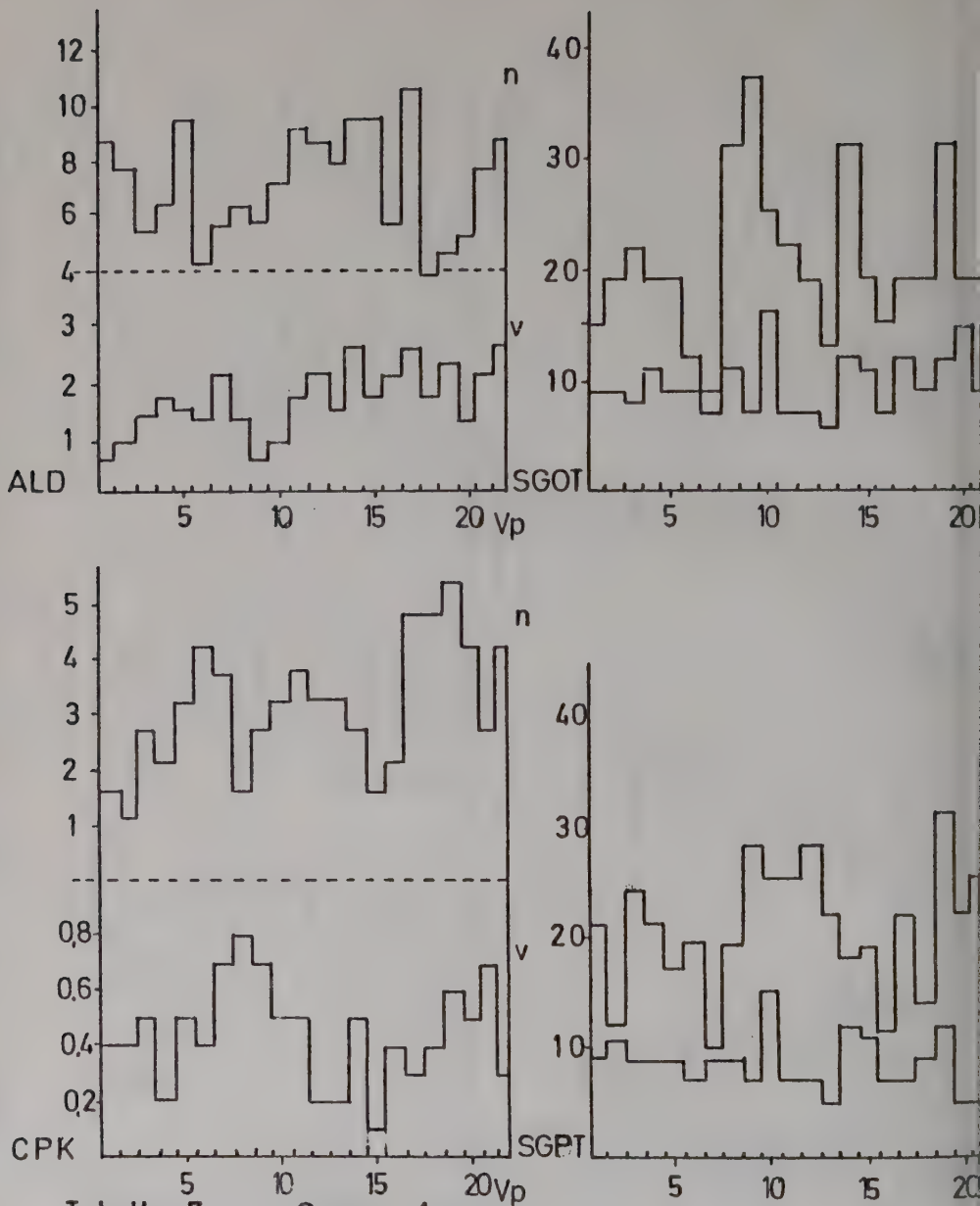


Tabelle 7: Gruppe 1

Enzym-und Laktatspiegel im Serum

Vor und nach Ergometer -Belastung (v.u.n.)

[mU/ml]

Vp = Versuchsperson

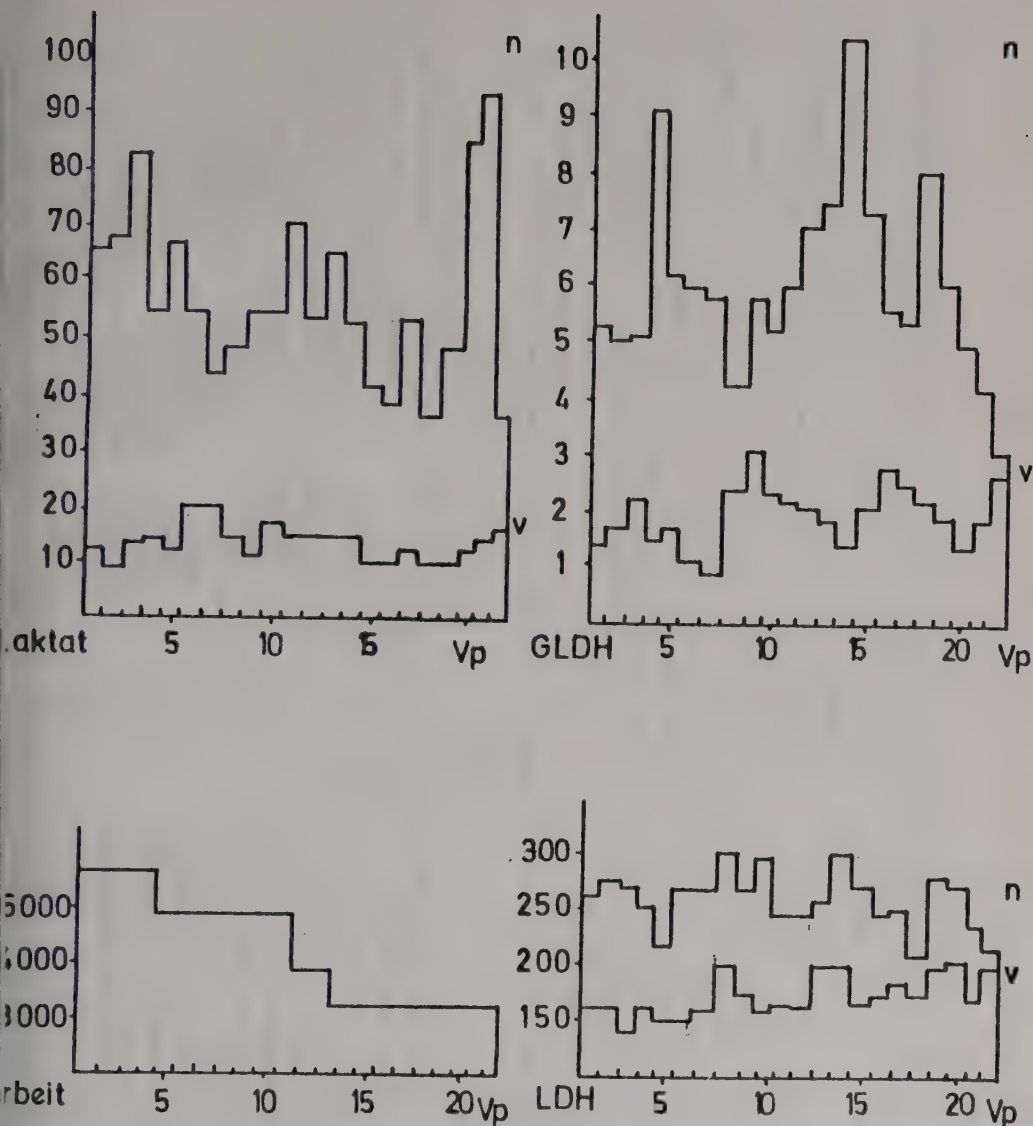


Tabelle 7: (Fortsetzung)

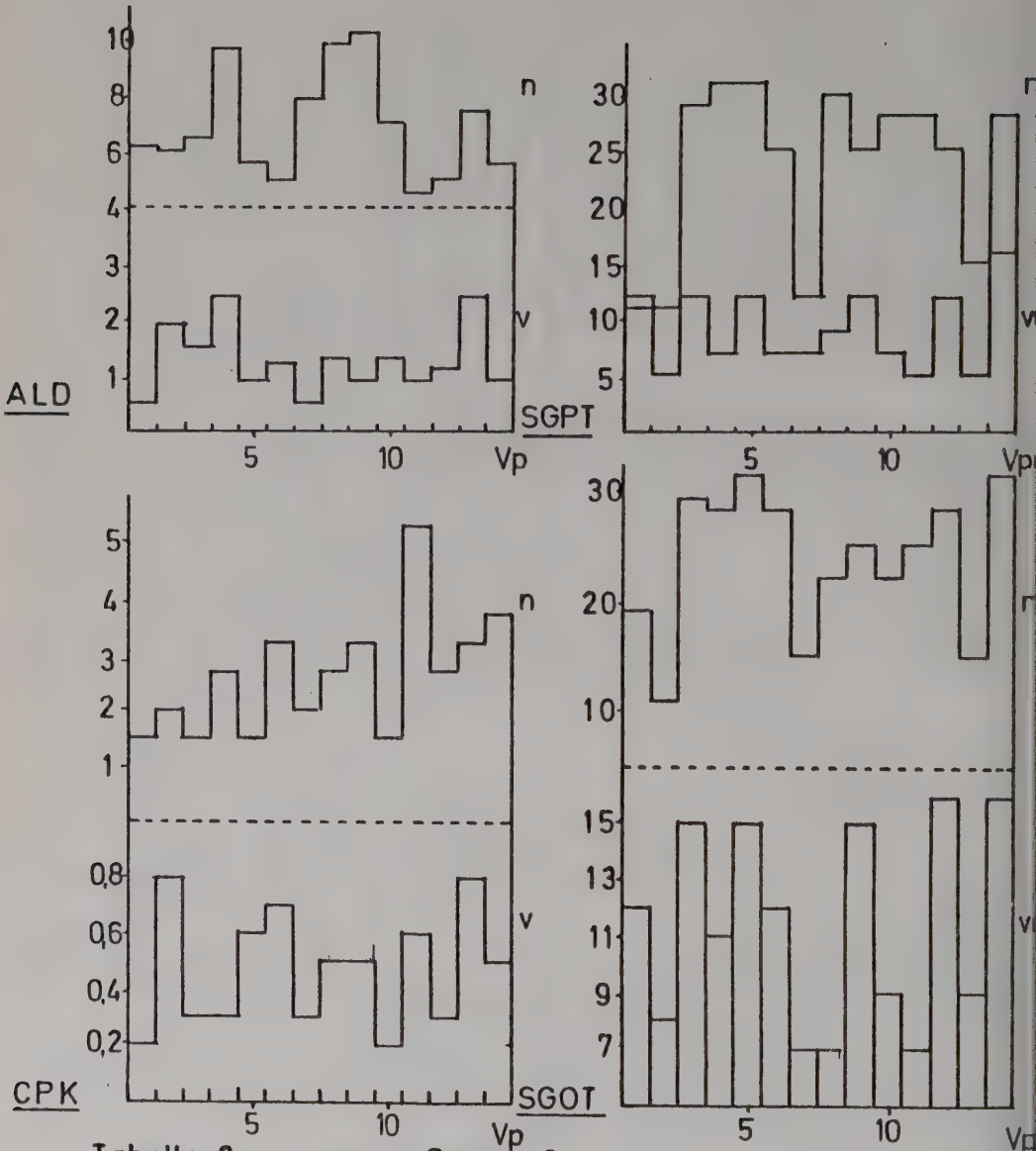


Tabelle 8: Gruppe 2

Enzymspiegel im Serum

Vor und nach Ergometer-Belastung
(v) (n)

Vp = Versuchsperson

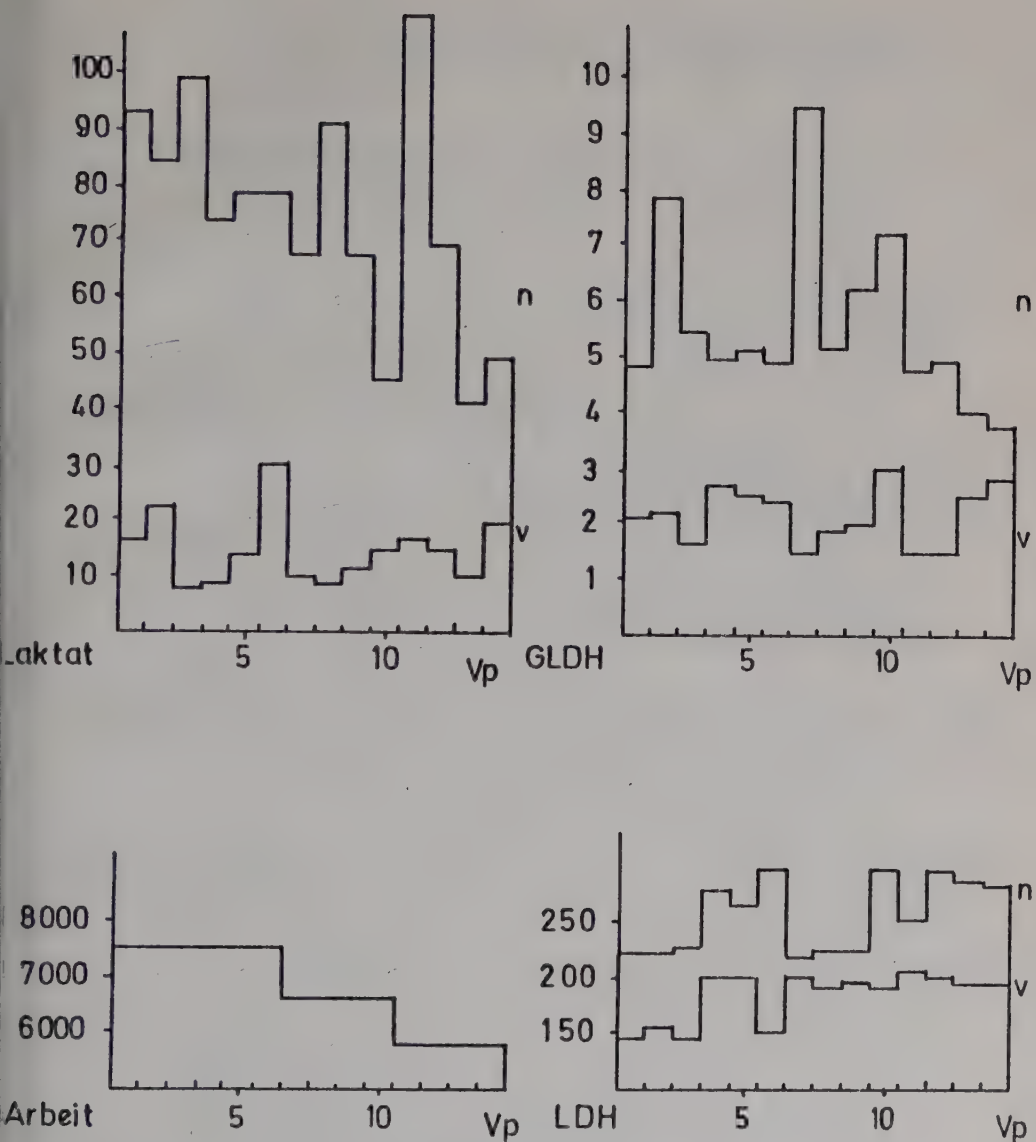


Tabelle 8: (Fortsetzung)

VI. DISKUSSION

Wie schon vorher erwähnt, gibt es im menschlichen Körper viele Enzyme, die in dieser Untersuchung unberücksichtigt bleiben mußten.

Zum Beispiel konnten wir die Untersuchung des Iso-Enzyms 5 der LDH aus technischen Gründen nicht durchführen.

Ein wesentlicher Parameter, der auch unberücksichtigt bleiben mußte, ist der Ermüdungszustand der Muskulatur:

Die Ermüdung ist nach SCHMIDTKE ein Zustand des gestörten Membranverhaltens an der Muskelspindel, da die Repolarisation auf Grund elektrochemischer Vorgänge mangelhaft ist.

Auch ROTHSCUH, SHEMINSKY u.a. belegen, daß die Ermüdung der Muskulatur nicht auf dem Abbau der gespeicherten Energiereserven beruht. Eventuell beeinflussen die veränderten Ionenverhältnisse, also das Membranverhalten, einen Großteil des Stoffwechselgeschehens, wie SCHMIDTKE feststellt: "Ionen beeinflussen den Laktacidogenstoffwechsel in den Fibrillen.

Außerdem wird seit geraumer Zeit die Verminderung der Löslichkeit der Eiweißkörper diskutiert und damit verbunden eine Beeinflussung der Stoffwechseltätigkeit.

Weitere Veränderungen, die nach Muskelarbeit im venösen Blutbild nachweisbar sind, wurden von verschiedenen Autoren nachgewiesen:

EDWARDS u. WOOD stellten fest, daß die Leukozytose direkt abhängig ist vom Grad der Belastung. Dabei spiele die Dauer der Belastung eine weitaus größere Rolle als die Belastungsgröße selbst.

JOKL teilte diese Leukozytose in drei Phasen:

- 1.) Lymphozytäre Phase (nach ca 1000-2000m - Lauf)
- 2.) Neutrophile Phase (nach z.B. 10 000 m - Lauf)
- 3.) Intoxikationsphase (nach z.B. Marathonläufen)

WACHOLDER ermittelte im Jahre 1957 eine Leukozytose mit ähnlichem Phasenablauf, aber erheblich anderen Ergebnissen:

- 1.) Leukopenie
- 2.) Neutrophilie
- 3.) Leukozytose

WACHOLDER nahm zuerst einen zentralnervösen Regulationsmechanismus an, später (ebenfalls 1957) hielt er eine Ausschüttung von ACTH für möglich und nahm dies als ursächliche Wirkung an.

Sehr wahrscheinlich wird auch das Stoffwechselgeschehen durch zentralnervöse und hormonelle Einflüsse bestimmt; ob es allerdings zu einem ähnlichen Phasenablauf kommt, wie bei der oben erwähnten Leukozytose, müßte durch weitere Arbeiten untersucht werden. Bei dem Versuchsaufbau dieser Arbeit war es uns leider nicht möglich, dieser Frage nachzugehen.

Ebenso unmöglich war es uns, der Frage nachzugehen, wie zum Beispiel veränderte physikalische und chemische Eigenschaften des Blutes das Ergebnis verändern könnten.

So hat zum Beispiel KESSELER und EGLI festgestellt, daß die Gerinnungsfaktoren Prothrombin, Faktor V, Faktor VII und Antithrombin einen höheren Spiegel nach Muskelarbeit aufweisen (1958). Ebenso fand er eine kürzere Gesamtgerinnungszeit und bei stärkerer, aber nicht erschöpfender Muskelarbeit eine stärkere Haftneigung der Thrombozyten (1957). Wahrscheinlich ist dies durch eine erhöhte Adrenalinausschüttung bedingt.

Als weitere Einschränkung dieser Arbeit möchten wir nicht unerwähnt lassen, daß es sich bei den Versuchspersonen ausschließlich um trainierte junge Probanden handelte. Dies ist bei Vergleichen mit anderen Arbeiten äußerst wichtig, da durch ein körperliches Training natürlich auch erhebliche Trainingserfolge erzielt werden:

M. KÖHLER und W. SCHOOP ermittelten folgende Trainings-
erfolge:

- 1.) Erhöhung der aeroben Stoffwechselkapazität bis zum doppelten Wert
- 2.) Erhöhung der Pyruvatoxidation bis zum doppelten Wert
- 3.) Erhöhung des Mitochondrienproteins und der mitochondrialen Enzyme (also die Enzyme der Atmungskette und der oxidativen Phosphorylierung in der Mitochondrieninnenmembran bzw. Christamembran und die löslichen Enzyme der Beta-Oxidation, der oxidativen Dekarboxylierung und des Citratzyklus in der Matrix - EDER u. GEDIGK -)
- 4.) Verdopplung der Mitochondrienzahl
- 5.) Ein unveränderter Umbau von Glucose zu Laktat, aber wegen 2.) dennoch eine geringere Laktatproduktion
- 6.) Eine Erniedrigung des Laktat/Pyruvat - Quotienten

Diese Trainingseffekte sind bei fast allen untersuchten Substanzen von großer Bedeutung:

So die Aldolase als Parameter für die anaerobe Glykolyse (BUDDECKE)

GLDH als Mitochondrienenzym (zu 40% - PRELLWITZ)

SGOT als Mitochondrienenzym (besonders die M-GOT - SIEGENTHALER)

SGPT als Parameter der anaeroben und aeroben Energiegewinnung und des Laktat/Pyruvat - Quotienten (SIEGENTHALER)

LDH als Parameter der anaeroben Muskeltätigkeit (BUDDECKE Laktat unter 5.) und 6.) direkt genannt

Außerdem sind auch die körperlichen Unterschiede zwischen den weiblichen und männlichen Probanden zu berücksichtigen:

Nach HEISS finden wir zum Beispiel Unterschiede in der Muskelmasse (weiblich: 35,8 % ; männlich: 41,8 % des Körpergewichtes), bei dem Verhalten des Milchsäurespiegels (weiblich: rascher Anstieg ; männlich: langsamer Anstieg nach Muskellarbeit) und auch bei Puls- und Atemfrequenz (bei Frauen höher als bei Männern)

Auf der Unterschiedlichen Muskelmasse zwischen Männern und Frauen wird sehr wahrscheinlich auch das unterschiedliche Verhalten der CPK und von Laktat unter Belastung der beiden untersuchten Gruppen beruhen.

Wir haben nun versucht, alle ermittelten Werte zu einem geordneten Gefüge zu verarbeiten und möglichst viele Gesetzmäßigkeiten zu ermitteln. Wir hatten dabei die verschiedenen Enzyme und das Laktat in Relation zur Arbeit, zum Sauerstoff-Verbrauch, zum Gewicht und zur Körpergröße, zur Erholungsphase, zur Herzfrequenz und untereinander kombiniert gesetzt, in der Hoffnung, eine Gesetzmäßigkeit zu finden.

Das Ergebnis war zumindest in der Aussage sehr aufschlußreich, daß alle Probanden einen deutlichen Enzymanstieg zeigten, während andere Autoren (OTTO, E. SCHMIDT und F.W. SCHMIDT und auch VETTER u.a.) nach dieser relativ kurzen Belastung bei einigen Probanden einen Abfall der Enzymaktivität im Serum feststellten.

Möglicherweise kann die Ursache dieses Ergebnisses im Trainingszustand der Probanden gesucht werden, aber möglicherweise führte eine in der Zeit von 1964 bis heute erheblich verbesserte Enzymdiagnostik zu neueren und zu genaueren Werten.

Auch AHLERT u.a. kamen aufgrund ihrer Untersuchungen zu dem Ergebnis, daß zwar nach kurzfristiger erschöpfender Belastung eine leichte Erhöhung der LDH - Akti-

vität auftreten kann, daß es aber erst nach einer erschöpfenden Ausdauerbelastung zu einem signifikanten Anstieg von LDH, SGOT und Aldolase komme. SGPT blieb dabei unverändert.

Ebenso ergaben unsere Untersuchungen etwas andere Ergebnisse als die Arbeit von GOHR u.a., die Ruhewerte meistens an der unteren Grenze der Norm fanden. Bei unserem Untersuchungsgut wurden sogar oft Ausgangswerte über der Norm liegend gefunden. Dies beruht sehr wahrscheinlich auf dem körperlichen Trainingszustand der Probanden.

Auch NUTTALL und YONES fanden nur eine geringe, bzw. keine Veränderung der Enzymaktivitäten.

Eine Korrelation zu den ergospirometrischen Werten, zu Puls, Körpergewicht, Arbeit oder Geschlecht konnte allerdings nicht gefunden werden. Es scheint daher sehr wahrscheinlich, daß das Maß des Anstieges von individuellen Faktoren geprägt wird, während das Grundsätzliche, nämlich eine Erhöhung der Enzymaktivität aus dem Versuchsaufbau eindeutig ermittelt worden ist.

Dieses Ergebnis ermittelten auch KÜSTNER u.a. bei ihren Versuchen. Diese Autoren untersuchten allerdings nur das Verhalten von CPK.

Die Ergebnisse von GOHR stehen eindeutig im Gegensatz zu unseren Ergebnissen, und sie widersprechen eigentlich auch den Ergebnissen von KÖHLER und SCHOOP, die von den Trainingserfolgen berichteten, die auch die Mitochondrien - Enzyme und die Laktat - Verwertung einschlossen.

Weitere Arbeiten konnten wir zu diesem bestimmt nicht unwichtigen Randgebiet unserer Untersuchungen nicht finden.

Natürlich darf auch nicht vergessen werden, daß die wenigsten Untersuchungen völlig standardisiert sind.

So kann man in diesem Fall nichts über die Aktivitäten der einzelnen Probanden aussagen. Und natürlich auch über latente Erkrankungen, veränderten Muskeltonus oder eingenommene Medikamente und deren Nebenwirkungen läßt sich umfassend wenig sagen.

AHLERT kam, wie schon erwähnt, zu den Ergebnissen, daß es erst nach längerer erschöpfender Belastung zu einem signifikanten Anstieg der Enzymaktivitäten käme und ist damit zu einem ähnlichen Ergebnis gekommen wie OTTO u.a.. Allerdings ist nach unserer Meinung und auch nach den Ergebnissen einiger anderer Autoren auch nach kürzer dauernder Muskularbeit mit einem Anstieg der Enzymaktivitäten zu rechnen, vorausgesetzt, es handelt sich um eine erschöpfende Arbeit, die in den oben beschriebenen Versuchsbedingungen gegeben war, und die auch nach unserer Meinung Voraussetzung zur Vergleichsgrundlage sein sollte.

Die Ergebnisse von BÖHMER allerdings, daß bei kurzzeitiger Muskularbeit die Serumaktivität sich bei einem Untrainierten in einem stärkeren Maße verändern als bei einem gut durchtrainierten Probanden, steht im Gegensatz zu vielen Arbeiten anderer Autoren, so zum Beispiel auch zu der schon des öfteren zitierten Arbeit von OTTO, E. SCHMIDT und F.W. SCHMIDT (1964) und auch im Gegensatz zu einigen neueren Arbeiten, wie von HUBBARD, MIESNER und anderen Autoren. Darüberhinaus hatten auch die hier vorliegenden Untersuchungen einen sehr hohen Anstieg der Enzymaktivitäten ergeben, und das bei Probanden, die, wie schon erwähnt, alle durchtrainierte Sportstudenten sind.

Auch NUTTALL und YONES (1968) hatten in Ihren Arbeiten etwas völlig anderes ermittelt als mehrere andere Autoren: z.B. HUBBARD, MISNER oder SCHNOHR
Als Trainingseffekt käme es in deren Arbeit zu einem ge-

ringeren Anstieg der Enzymaktivität als bei untrainierten Probanden. Ja, sie sprachen sogar von einem Gleichbleiben der Serumaktivitäten nach einer Muskelbelastung. Sie werteten dies als eine Anpassung des Muskels an die erhöhten Anforderungen, also als eine Art Trainingserfolg.

Nach unserer Meinung war sehr wahrscheinlich die Belastung (Gewichtheben) zu gering, sodaß im "trainierten Zustand"

- die o.a. Autoren (NUTTALL und YONES) führten Untersuchungen über mehrere Wochen bei den gleichen Probanden und unter gleichen Versuchsbedingungen durch, sodaß bei den gleichen Personen Ergebnisse im trainierten und im untrainierten Zustand ermittelt werden konnten. -

nicht mehr von einer erschöpfenden Arbeit gesprochen werden konnte. Oder die Versuchsbedingungen unterschieden sich in einem solchen Maß von den hier vorliegenden, daß ein Vergleich der Messungen unmöglich ist.

HUBBARD ermittelte in ihrer Arbeit über den Effekt einer Muskularbeit auf den Stoffwechsel von Laktat unter anderem drei interessante und nach unserer Meinung durchaus wesentliche Ergebnisse, indem sie den Verlauf des Laktatspiegels in drei Phasen einteilen konnte:

- 1.) Nach den ersten wenigen Minuten blieb der Laktatspiegel noch konstant auf dem Ausgangswert
- 2.) Einige Minuten nach der körperlichen Belastung stieg der Laktatspiegel plötzlich in einem erheblichen Maß an
- 3.) Einige Zeit danach kam es zu einem ebenfalls sehr schnellen Abfall des Spiegels. Sehr wahrscheinlich durch eine Entfernung aus dem Blutkreislauf und Einschleusung in den weiteren Laktatstoffwechsel

Wir stellen nun zur Diskussion, ob nicht auch bei den Enzymaktivitäten eine solch rapide stattfindende Eli-

minierung stattfindet, die dann auch die unterschiedlichen Ergebnisse der verschiedenen Autoren erklären könnte.

Je nachdem, wann das Blut zur Enzymbestimmung entnommen würde, wäre man in eine der drei oben genannten Phasen geraten und hätte die entsprechenden Ergebnisse ermittelt.

Die in dieser Arbeit vorliegenden Ergebnisse wurden aus dem Serum ermittelt, das 5 Minuten nach Beendigung der körperlichen Arbeit entnommen wurde.

MISNER, MASSEY und WILLIAMS untersuchten, inwieweit sich das körperliche Training auf den Anstieg der Enzymaktivität im Serum nach einer körperlichen Belastung auswirkt. In ihren Vergleichen: trainierte - untrainierte Probanden ermittelten sie, daß nach einer Belastung CPK in beiden Gruppen etwa in gleichem Maß im Serum anstieg, während der Spiegel von anderen Enzymen, z.B. SGOT in besonders hohem Maß bei den trainierten Untersuchungspersonen anstieg.

Auch diese Ergebnisse liegen auf der gleichen Linie wie die der vorliegenden Arbeit und im Gegensatz zu den oben schon erwähnten Arbeiten.

Auch diese Autoren (MISNER, MASSEY und WILLIAMS) kamen zu dem Ergebnis, daß körperliches Training einen weit- aus größeren Enzymanstieg induzieren und somit einen Trainingseffekt darstellen muß.

Ebenso kam es in der Arbeit von SCHNOHR zu einem signifikanten Anstieg der Enzyme LDH, SGOT und CPK bei aus- trainierten Probanden.

In dieser Arbeit wurde zwar auch eine lang andauernde Muskelarbeit als Versuchsgrundlage genommen (100 km - Lauf) und die Ergebnisse treffen sich mit denen aus der Arbeit von AHLERT, aber sie stehen keinesfalls im Gegen- satz zu den hier vorliegenden Ergebnissen, wohl aber zu

der Arbeit von NUTTALL und YONES, die als Trainings-effekt eher einen Abfall der Enzymaktivität fordern.

Erwähnenswert wäre noch, daß während des Versuchs natürlich fortlaufend die Verluste an Wasser, Elektrolyten ausgeglichen wurde und auch gegen einen hypoglykämischen Zustand vorgesorgt wurde.

OTTO, E.SCHMIDT und F.W.SCHMIDT kamen in der schon des Öfteren erwähnten Arbeit über den Enzymspiegel im Serum bei körperlicher Arbeit von ambulanten Patienten zu folgenden Ergebnissen:

1. Nach kurzfristiger Belastung kommt es häufig zu einem Abfall der Enzymaktivitäten im Serum
2. Nach einer längeren Belastung kommt es zumeist zu einem Anstieg der Enzymaktivitäten im Serum
3. Der Anstieg der Aktivitäten ist abhängig von der Dauer und dem Schweregrad der Belastung
4. Einzelne Enzyme zeigen unterschiedliche Veränderungen

Die Punkte 1 - 3 wurden schon bei anderen Arbeiten erörtert und dienen hier hauptsächlich der Vollständigkeit der Beschreibung.

Über den Punkt 4 ist uns keine weitere Arbeit bekannt, die etwas gegenteiliges gefunden hat, und auch diese Ergebnisse bestätigen die Richtigkeit der hier vorliegenden Arbeit.

Während SANDERS und BLOOR in ihrer vergleichenden Arbeit über das Enzymverhalten bei Hund, Schwein und Mensch noch feststellten, daß GOT, GPT und LDH sich nach einer Belastung bei keiner Art wesentlich im Serumspiegel veränderte, fanden die gleichen Autoren in ihrer Arbeit über die Wirkung von körperlichem Training auf die Serumaktivität, daß die gleichen Enzyme und auch CPK, welche allerdings auch in der ersten Arbeit ange-

stiegen war, Laktat und Pyruvat bei trainierten Probanden einen erheblich größeren Aktivitätsanstieg ergaben als bei der untrainierten Vergleichsgruppe, bei der sogar -hauptsächlich bei LDH- der Spiegel im Serum oft nicht angestiegen war.

Auch FORSELL, NORDLANDER, NYQUIST, ORINIUS und STYRELIUS ermittelten bei ihrer Versuchsgruppe zwar einen mäßigen Anstieg der Enzymaktivitäten, aber niemals über den Normwert hinaus. Es wurde zwar nur die CPK untersucht, aber auch hier ergaben die Untersuchungen von uns andere Ergebnisse. Da es sich bei der Arbeit der oben genannten Autoren um ältere und untrainierte Versuchspersonen handelte, dürfte auch hier wieder der Trainingserfolg für die unterschiedlichen Ergebnisse verantwortlich gemacht werden.

ANTONY und VENRATH berichteten von einer Verminderung der Sauerstoffaufnahmekapazität, einer Vergrößerung des Atemminutenvolumens und eine Verschlechterung der aeroben Stoffwechsellage bei zunehmendem Alter. Diese Beobachtung dürfte die Differenz der Untersuchungsergebnisse zwischen der vorliegenden Arbeit und der von FORSELL u.a. hinreichend erklären, wenn auch nicht unbedingt zwingend beweisen.

Wie wichtig der Sauerstoff im Stoffwechselgeschehen der untersuchten Enzyme ist, und wie wichtig der darauf begründete Trainingseffekt ist, zeigt die Arbeit von JUCHEMS, OHR und KAFFARNIK. Dort wurde die vorhandene Energielage am besten von Sportlern ausgenutzt, die den geringsten Anstieg an Pyruvat im Serum zeigten. Ebenso war bei den Sportlern der Laktatanstieg und der Laktat - Pyruvat - Quotient am geringsten. Der ICDH (Isocitratdehydrogenase) - Anstieg nach einer körperlichen Belastung war allerdings bei den Sportlern am

steilsten und signifikantesten. Dies zeigt wieder deutlich, daß die Mobilisierung von Energie bei Sportlern am ausgeprägtesten ist, und eine große Schwankungsbreite bei den verantwortlichen Enzymen durch körperliches Training zwangsläufig entstehen muß.

MAGAZANIK, SHAPIRO, MEYTES D. und MEYTES I. fanden bei ihrer Betrachtung des Enzymspiegels während eines Marathon - Laufes ebenso einen signifikanten Anstieg während des Laufes, und zwar von CPK, Aldolase, SGOT und SGPT. Damit hatten auch diese Autoren Ergebnisse ermittelt, die im Gegensatz zu denen von SCHNOHR und AHLERT stehen. Interessanterweise konnte in dieser Arbeit ein simultaner Anstieg von CPK und Aldolase gefunden werden. Dies wurde von uns nur in einigen wenigen Fällen gefunden. Diese Werte stehen auch im Gegensatz zu der Arbeit von OTTO u.a.. Nach unserer Meinung wäre aber eine ausführliche Versuchsreihe durchaus angebracht, um diese Widersprüche zu klären.

Interessant ist in diesem Zusammenhang auch eine Arbeit von HARALAMBIE, der einen signifikanten Anstieg der CPK-Aktivität durch eine elektrische Reizung des M. gastrocnemius und des M. rectus femoris erzielte. In diesem Versuchsaufbau wurde also der Hormoneinfluß und der Einfluß des Zentralnervensystems auf die Höhe der Enzymaktivität völlig ausgeschaltet und dennoch eine signifikante Erhöhung der Enzymaktivität im Serum gefunden werden.

Eine weitere wichtige Bereicherung der hier vorliegenden Ergebnisse ist die Arbeit von KELMAN, MANHAN und WILLIAMS. Dort wurde zwar nur der Serumspiegel von Laktat untersucht, aber dafür konnten durch den besonderen Versuchsaufbau während der Belastung fortlaufende Messungen vorgenommen werden. Diese Messungen ergaben, daß bei fortlaufender Muskelarbeit auch der Laktatspiegel fortlaufend ansteigt. Dies läßt die Vermutung aufkommen, daß

durch die steigende Belastung des Organismus auch eine Steigung der Enzymfreisetzung stattfindet. Einen Beweis müssen wir natürlich, bedingt durch einen völlig anderen Versuchsaufbau, schuldig bleiben.

So berichtete auch JAKOWLEW über eine Erweiterung des Regulationsbereichs des Stoffwechsel bei einer Anpassung an eine verstärkte Muskeltätigkeit.

In dieser Arbeit ermittelte JAKOWLEW, daß es bei Trainierten zu einer geringeren Störung der biochemischen Homöostase, aber zu einer stärkeren Störung der ATP - Bilanz im Muskel kommt. Dadurch kann eine höhere Sauerstoffschuld und ein höherer Laktatspiegel im Blut erreicht werden als bei Untrainierten.

Durch diese Ökonomisierung des Energiehaushaltes kommt es zu einer bedeutend größeren Enzymaktivierung und auch Abgabe ins Serum. Es kommt also zeitweise zu einem "verschwenderischen Verbrauch des energetischen Potentials". Die Enzymaktivität ändert sich dadurch in einem weitaus breiteren Bereich bei trainierten Tieren als bei untrainierten. Die Sensibilität gegenüber Adrenalin, Insulin und möglicherweise auch ACTH nimmt unter dem Einfluß des Trainings zu. Diese Beobachtung erklärt die Ergebnisse einer Reihe von Autoren. Zum Beispiel HUBBARD, MISNER oder auch SCHNOHR, die einen ähnlichen Trainingseffekt beobachten konnten, und erklärt auch die Werte, die in dieser Arbeit vorliegen.

Denn durch die Erhöhung der Sensibilität gegenüber der genannten Hormone ändern sich auch die potentiellen Möglichkeiten der Enzyme, die die Stoffwechselantwort auf die Hormoneinwirkungen vermitteln.

Bei einer Muskularbeit, die eine Maximal-Belastung darstellt, ist der Trainierte unbedingt im Vorteil, weil dieser über eine bedeutend größere Breite der Stoffwechselregulation verfügt als der Untrainierte, was, wie nun eine Reihe von Autoren (z.B. HUBBARD, MISNER, SCHNOHR

OTTO u.a. KÖHLER und SCHOOP) ermittelt haben, ein Ergebnis des systematischen Trainings ist.

Wenn man dann noch die Verteilung der Enzyme, also das Enzymmuster bei einer Muskelbiopsie betrachtet, findet man nach LANDAHN und HEYCK folgende Werte:

LDH:	4,5 %	in Mitochondrien	79 %	im Cytoplasma
Ald:	0,6 %	"	90 %	"
CPK:	1 %	"	82 %	"
GOT:	22 %	"	56 %	"
GPT:	8 %	"	65 %	"
GLDH:	91 %	"	-	"

daraus könnte man folgern, daß bei Sportlern besonders GLDH als fast ausschließliches Mitochondrienenzym einen besonders hohen Ausgangswert und auch eine besonders hohe Aktivitätssteigerung aufweisen müßte.

Und tatsächlich wurden folgende Werte ermittelt:
Von einem Ausgangswert von 2,1 mU/ml stieg die Enzymaktivität auf 5,8 mU/ml. Der Normbereich beträgt bis zu 1 mU/ml. Es wurden also tatsächlich enorm hohe Werte gefunden, wie aber auch bei den anderen Enzymen grundsätzlich hohe Werte gefunden wurden.

VII. ZUSAMMENFASSUNG

Es wird in einer experimentellen Studie untersucht, ob und in welchem Maß die "muskelspezifischen" Enzyme: LDH, Aldolase, CPK, SGOT, SGPT und GLDH, sowie Laktat nach einer Muskelbelastung im Serum eine Aktivitätssteigerung erfahren.

Gleichzeitig wurde die Größe, das Gewicht, Alter, Arbeit und verschiedene ergospirometrische Werte versucht, in Relation zu den Aktivitätssteigerungen zu setzen.

Dabei konnten allerdings keine verwertbaren Ergebnisse erzielt werden.

Die Untersuchungen wurden unter standardisierten Bedingungen am Fahrradergometer durchgeführt. Die Blutentnahmen wurden jeweils kurz vor Beginn der Belastung und circa 5 Minuten nach Beendigung der Belastung vorgenommen.

Bei den Versuchspersonen handelte es sich um 36 Sportstudenten und Studentinnen im Alter von 20 bis 30 Jahren. Es wurden zwei Gruppen unterschieden:

Gruppe I : 22 weibliche Probanden

Gruppe II: 14 männliche Probanden

Bei allen Probanden wurde eine Steigerung der Enzymaktivitäten im Serum gefunden, wobei die Steigerung nicht von der geleisteten Arbeit, und auch nicht von Geschlecht, Größe, Alter und ergospirometrischen Befunden abhing.

Es fand kein simultaner Anstieg der einzelnen Enzyme statt, sondern eine scheinbar regellose Aktivitätserhöhung.

Schon die Ausgangswerte wiesen meist erhöhte Werte

gegenüber der Norm auf.

Dies führten wir auf den doch erheblichen Trainingsvorsprung zurück, den die Probanden gegenüber Untrainierten besitzen.

Literaturangaben darüber wurden vorgelegt.

Die ermittelten Ergebnisse wurden mit Arbeiten anderer Autoren verglichen und, da es in einigen Fällen zu einander widersprechenden Ergebnissen kam, diskutiert. Dabei entwickelte Thesen wurden mit Literaturangaben belegt und anhand von Beispielen erläutert.

Dadurch wurden die anfangs bestehenden Widersprüche analysiert und auf die unterschiedlichen Versuchsbedingungen zurückgeführt.

LITERATURVERZEICHNIS

- AHLERT, G.
PLATZEK, S.
WUSCHECK, H.
et al. Das Serumenzymmuster des Hochleistungssportlers und seine Veränderung unter erschöpfender körperlicher Belastung
Deutsch Gesundh. 22, (1042-6)
(1967)
- ANTHONY, A.J.
VENRATH, H. Funktionsprüfung der Atmung
Joh. Ambrosius Barth - Verlag,
Leipzig (1962)
- BÖHMER, D. Änderungen der Enzymaktivitäten
im Serum bei Sportlern
Landarzt 43, (655-9)
(1967)
- BUDDECKE, E. Grundriß der Biochemie, 2. Aufl.
Walter de Gruyter, Berlin
(1971)
- EDER, M.
GEDIGK, P.
et al. Lehrbuch der allgemeinen Pathologie und der pathologischen Anatomie
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York; 28. Aufl. des
Lehrbuchs von HAMPERL, H.
(1975)
- EDWARDS, H.T.
WOOD, W.B. A study of leukocytosis in exercise
Arbeitsphysiol. 6 (73)
(1932)
- FORSELL, G.
NORDLANDER, R.
NYQUIST, O. Creatine phosphokinase after submaximal physical exercise in untrained individuals
Acta med. scand. 197/6 (503-505)
(1975)
- GOHR, H.
GÜRAKA, M. Klinische und experimentelle Untersuchungen über das Verhalten verschiedener Fermentreaktionen im Blut bei Patienten mit Leberschäden und Herzinfarkt, sowie bei Sportlern nach körperlicher Arbeit
Ärztl. Lab. 7, (234-240)
(1961)
- GROSS, R.
SCHÖLMERICH, P.
et al. Lehrbuch der inneren Medizin
3. Auflage
Schattauer Verlag, Stuttgart
(1973)

- V.GIERKE, E. Die Rolle der inneren Fermente in Physiologie und Pathologie
Wien. klin. Rundschau
(1913)
- HARALAMBIE, C. Neuromuscular Irritability and serum creatinine phosphate kinase in Athletes in training
Int. Z. Angew. Physiol. 31/4
(279-288)
(1973)
- HEISS, F. Praktische Sportmedizin, 2. Aufl.
Enke Verlag, Stuttgart
(1964)
- HUBBARD, J.L. The effect of Exercise on lactate metabolism
Journal Physiolog., London
Bibliogr. 231/1, (1-18)
(1973)
- JAFFÉ, E.R. Hereditary hemolytic disorders and enzymatic deficiencies of human erythrocytes
Blood 35, 116
(1970)
- JAKOWLEW, N.I. Erweiterung des Regulationsbereichs des Stoffwechsels bei Anpassung an verstärkte Muskel-
tätigkeit
Med. u. Sport XVI,3
(1976)
- JOKL, E. Blutuntersuchungen an Sportsleuten
Arbeitsphysiol. 4, 379
(1931)
- JUCHEMS, R.
OHR, R.
KAFFARNIK, H. Pyruvat, Laktat, Isocitratdehydrogenase und Hämatokrit unter ergometrischer Belastung
Med. Klinik 68/33 (1071-1079)
(1973)
- KARLSON, P. Kurzes Lehrbuch der Biochemie
9. Aufl., Thieme Verlag, Stuttgart
(1974)
- KELMAN, G.R.
MAUGHAN, R.J.
WILLIAMS, C. The effect of dietary modifications on blood lactate during exercise
Journal of Physiology 251, P 34 - P 35
(1975)

- KESSELER, K.
EGLI, H. Untersuchungen über die Gerinnbarkeit des Blutes während und nach körperlicher Arbeit
Int. Z. angew. Physiol. 17, 228 (1958)
- KÖHLER, M.
SCHOOP, W. Metabolische und hämodynamische Trainingseffekte bei normaler und gestörter Muskeldurchblutung
Verlag Hans-Huber, Bern-Stuttgart-Wien
(1973)
- KOLLER, S. Neue graphische Tafeln zur Beurteilung statistischer Zahlen
Dr. Dietrich Steinkopff Verlag, 4. Auflage, Darmstadt
(1969)
- KÜSTNER, W.
PAETZEL, A.
WEINREICH, J. Veränderung der Kreatininphosphokinase - Aktivität im Serum bei körperlicher Belastung
Med. Klin 61, 1858-63 (1966)
- LAUDAHN, G.
HEYCK, H. Fermentaktivitätsbestimmungen in der gesunden menschlichen Muskulatur und bei Myopathien
I. Mitteilung
Klinische Wochenschrift 41, 10 (1963)
- LÖHR, G.W.
WALLER, H.D. Die Diagnostik nicht sphärozytärer hämolytischer Anämien mit Enzymdefekten in der Glykolyse
Dtsch. med. Wschr. 91, 1933 (1966)
- MEGAZANIK, A.
SHAPIRO, Y.
MEYTES, D.
MEYTES, I. Enzyme Blood Levels and Water Balance during a Marathon Race
J. Appl. Physiol. 36/2 (214-217) (1974)
- NUTTALL, F.Q. Creatine kinase and glutamic oxalacetic transaminase activity in serum: kinetics of change with exercise and effect of physical conditioning
J. Lab. Clin. Med. 71, (847-54) (1968)
- OTTO, P.
SCHMIDT, E.
SCHMIDT, F.W. Enzymspiegel bei körperlicher Arbeit und ambulanten Patienten
Klinische Wochenschrift 42, 2 (1964)

- PRELLWITZ, W. Klinische, chemische Diagnostik
1. Auflage, Thieme Verlag Stuttg.
(1972)
- ROHDE, C.P.
WACHOLDER, K. Weißes Blutbild und Muskularbeit
Arbeitsphysiol. 15, 165
(1953)
- ROTHSCHUH, K.E. Die Kopplung zwischen Erregung
und kontraktilem Geschehen. Beob-
achtungen und Interpretationen
Klin. Wschr. 34, 1049
(1956)
- SANDERS, T.M.
BLOOR, C.M. Effects of Repeated Endurance Ex-
ercise on Serum Enzyme Activities
in well conditioned males
Med. sci. sport 7/1, 44-47
(1975)
- SCHMIDT, E.
SCHMIDT, F.W. Fermentaktivitätsbestimmungen in
der menschlichen Leber
Klin. Wschr. 37, 1221
(1959)
- SCHMIDT, E.
SCHMIDT, F.W. Enzymfibel
Boeringer Mannheim
(1966)
- SCHMIDTKE, H. Die Ermüdung: Symptome, Theorien,
Messversuche
Verlag Hans Huber, Bern - Stuttgart
(1965)
- SCHNOHR, P. Enzym Concentrations in serum
after prolonged physical exercise
Dan. Med. Bull. 21/2, 68-71
(1974)
- SHEMINZKY, F.
SHEMINZKY, F. Permeabilität und Ermüdung; II. Mit-
teilung: Ist der Wendungseffekt
durch die Reizung neuer Fasern oder
durch Grenzflächenänderungen schon
erregter Fasern bedingt?
Pflügers Arch. ges. Physiol. 225, 145
(1930)
- SIEGENTHALER, W.
et al. Klinische Pathophysiologie, 2. Aufl.
Thieme Verlag, Stuttgart
(1973)
- SUMNER The isolation and crystallization
of the enzyme urease; preliminary
paper
J. Biol. Chem! Balt.
(1926)

- VETTER, K.
GRIESCHE, H.
MOCK, K.
Serumfermente und ihr Verhalten
unter physiologischen Bedingungen
Z. ges. inn. Med. 17, 359
(1961)
- WACHOLDER, K.
PARCHWITZ, E.
EGLI, H.
KESSELER, K.
Der Einfluß körperlicher Arbeit
auf die Zahl der Thrombozyten und
auf deren Haftneigung
Acta haemat 18, 59
(1957)
- WACHOLDER, K.
Zur Entstehung der Veränderung des
weißen Blutbildes bei und nach
Muskelarbeit
Int. Z. angew. Physiol. einschl.
Arbeitsphysiol. 16, 356
(1957)
- WILLSTÄTTER, R.
OPPENHEIMER, T.
STEIBELT, W.
Über Maltaselösungen aus Hefe
Ztschr. f. physiol. Chem.
Berlin u. Leipzig 232-240
(1920)

Lebenslauf

- 1951 14.1. als 2. Kind der Eheleute Friedrich Karl und Erika Schubert, geb. Hammerstein in Mainz geboren
- 1957 Einschulung in Leibniz-Schule, Mainz
- 1961 Übertritt in Rhabanus Maurus Gymnasium, Mainz
- 1961 Wechsel in Gymnasium 5239 Marienstatt
- 1970 Abitur an Gymnasium Marienstatt
- 1970 Beginn des Chemiestudiums an der Johannes Gutenberg Universität, Mainz
- 1971 Beginn des Medizinstudiums in Mainz
- 1972 Vorphysikum
- 1974 Physikum
- 1974/1975 Zwei Semester Medizinstudium an der Universität Wien
- 1975 Fortsetzung des Studiums in Mainz
- 1977 Medizinisches Staatsexamen in Mainz
- 1977 Oktober bis März 1978 Medizinalassistent am Krankenhaus Montabaur (Fach Chirurgie)
- 1978 April bis September Medizinalassistent am Vincenz Krankenhaus in Mainz
- 1978 Oktober bis Dezember Praxisvertretung
- 1979 Seit 1.1. als chirurgischer Assistent im Kreis Krankenhaus Groß-Gerau tätig

Mainz, den 20.3.1979

Bodo Schubert

